

Docket No.: 50395-102

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of

Tetsufumi TSUZAKI , et al.

Serial No.:

Group Art Unit:

Filed: August 15, 2001

Examiner:

For: RAMAN AMPLIFIER AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
Washington, DC 20231


Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:  
Japanese Patent Application No. 2000-248627,  
Filed August 18, 2000

A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

  
Arthur J. Steiner

Registration No. 26,106

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 AJS:ykg  
**Date: August 15, 2001**  
Facsimile: (202) 756-8087



日本国特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

50395-102

AUGUST 15, 2001

TSUZAKI, ET AL.

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日

Date of Application:

2000年 8月18日

出願番号

Application Number:

特願2000-248627

出願人

Applicant (s):

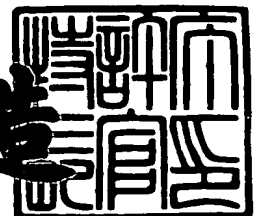
住友電気工業株式会社



2001年 3月 2日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3012888

【書類名】 特許願

【整理番号】 100Y0242

【提出日】 平成12年 8月18日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社  
横浜製作所内

【氏名】 津崎 哲文

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社  
横浜製作所内

【氏名】 角井 素貴

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社  
横浜製作所内

【氏名】 石川 真二

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社  
横浜製作所内

【氏名】 大西 正志

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 星谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001754

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ラマン増幅器および光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波領域における組成が互いに異なり、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅する複数のラマン増幅用光ファイバと、

前記複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し前記ラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段と

を備えることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項2】 前記複数のラマン増幅用光ファイバが直列に接続されていることを特徴とする請求項1記載のラマン増幅器。

【請求項3】 前記複数のラマン増幅用光ファイバが並列に接続されていることを特徴とする請求項1記載のラマン増幅器。

【請求項4】 前記励起光供給手段は前記複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し同一波長の前記ラマン増幅用励起光を供給することを特徴とする請求項1記載のラマン増幅器。

【請求項5】 前記励起光供給手段は前記複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し共通の励起光源から出力された前記ラマン増幅用励起光を供給することを特徴とする請求項1記載のラマン増幅器。

【請求項6】 前記励起光供給手段は前記複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し互いに異なる波長の前記ラマン増幅用励起光を供給することを特徴とする請求項1記載のラマン増幅器。

【請求項7】 前記複数のラマン増幅用光ファイバの何れかは光導波領域にGeが添加されていることを特徴とする請求項1記載のラマン増幅器。

【請求項8】 前記複数のラマン増幅用光ファイバの何れかは光導波領域にPが添加されていることを特徴とする請求項1記載のラマン増幅器。

【請求項9】 光導波領域における組成が互いに異なり、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅する複数のラマン増幅用光ファイバが敷設されてなる光伝送路と、

前記光伝送路に対し前記ラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段とを備えることを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、信号光を用いて通信を行う光通信システムにおいて信号光が光伝送路を伝送される際に被る伝送損失をラマン増幅により補償するラマン増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

信号光を用いて通信を行う光通信システムにおいて、送信器から送出された信号光は、光伝送路を伝送される際に伝送損失を被り、受信器に到達するときにはパワーが小さくなる。受信器に到達した信号光のパワーが所定値以下であると、受信エラーに因り正常に光通信を行えない場合が生じ得る。そこで、送信器と受信器との間に光増幅器を設けて、この光増幅器により信号光を光増幅することで、信号光が光伝送路を伝送される際に被る伝送損失を補償することが行われている。

【0003】

このような光増幅器には、希土類元素が添加された増幅用光ファイバを用いた希土類元素添加光ファイバ増幅器（例えばEr元素添加光ファイバ増幅器）と、ラマン増幅用光ファイバにおけるラマン増幅現象を利用したラマン増幅器とがある。希土類元素添加光ファイバ増幅器と比べると、ラマン増幅器は、ラマン増幅用励起光の波長を適切に設定することで利得を有する波長帯域を所望のものにすることが可能である等の特徴を有している。

【0004】

所定の信号光波長帯域内の多波長の信号光を多重化して光通信を行う波長多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）光通信システムでは、ラマン増幅器は、広い波長帯域で信号光をラマン増幅し得ることが求められ、或いは、複数の波長帯域それぞれで信号光をラマン増幅し得ることが求められている。例え

ば、文献「Y. Emori, et al., "100nm bandwidth flat gain Raman amplifiers pumped and gain-equalized by 12-wavelength-channel WDM high power laser diodes", OFC'99, PD19 (1999)」に記載されたラマン増幅器は、 $N$ 個 ( $N \geq 2$ ) の励起光源それぞれから出力された異なる波長の光を合波したものをラマン増幅用励起光としてラマン増幅用光ファイバに供給することで、利得スペクトルの幅の拡大等を図ることができるものである。この文献では、励起光源の個数  $N$  を 12 としている。

## 【0005】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記文献に記載されたラマン増幅器は、利得スペクトルの幅の拡大等を図るには多数の励起光源を備えなければならないことから、コストが高くなる。また、中継区間毎にラマン増幅器を備えるとすれば、その光通信システムは、中継区間の数と上記  $N$  値とを乗じた個数の励起光源を備えなければならないことから、やはりコストが高くなる。

## 【0006】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、ラマン増幅の利得スペクトルの幅の拡大等を低コストで図ることができるラマン増幅器および光通信システムを提供することを目的とする。

## 【0007】

## 【課題を解決するための手段】

本発明に係るラマン増幅器は、(1) 光導波領域における組成が互いに異なり、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅する複数のラマン増幅用光ファイバと、(2) 複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対しラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段とを備えることを特徴とする。このラマン増幅器によれば、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに励起光供給手段によりラマン増幅用励起光が供給されると、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれを伝搬する信号光はラマン増幅される。複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれは、光導波領域における組成が互いに異なるので、ストークスシフト量も互いに異なる。これにより、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれにおけるラマ

ン増幅の利得帯域を互いに異なるものとすることができる。ラマン増幅器におけるラマン増幅の利得帯域は、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を総合したものとなり、1種類のラマン増幅用光ファイバのみが設けられた従来の場合の利得帯域と比較して広くすることができる。

#### 【0008】

また、本発明に係るラマン増幅器は、複数のラマン増幅用光ファイバが直列に接続されていてもよいし、並列に接続されていてもよい。何れの場合にも、ラマン増幅器におけるラマン増幅の利得帯域は、従来の場合の利得帯域と比較して広くすることができる。複数のラマン増幅用光ファイバが並列に接続される場合には、信号光は、分波器により複数の波長帯域に分波され、何れかのラマン増幅用光ファイバにより帯域毎にラマン増幅される。複数のラマン増幅用光ファイバが直列に接続される場合には、並列接続の場合に必要な合波器や分波器が不要であるので、より低コストである。

#### 【0009】

また、本発明に係るラマン増幅器は、励起光供給手段が複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し同一波長のラマン増幅用励起光を供給することを特徴とする。この場合には、ラマン増幅器における利得帯域の幅は、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれの組成に応じたものとなる。

#### 【0010】

また、本発明に係るラマン増幅器は、励起光供給手段が複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し共通の励起光源から出力されたラマン増幅用励起光を供給することを特徴とする。この場合には、励起光源の個数を少なくして、低コスト化を図る上で更に好適である。

#### 【0011】

また、本発明に係るラマン増幅器は、励起光供給手段が複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し互いに異なる波長のラマン増幅用励起光を供給することを特徴とする。この場合には、ラマン増幅器における利得帯域の幅は、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれの組成およびラマン増幅用励起光の波長の双方に応じたものとなり、更に広くすることが可能である。



## 【 0 0 1 2 】

また、本発明に係るラマン増幅器では、複数のラマン増幅用光ファイバの何れかは光導波領域にGeが添加されていることを特徴とする。また、複数のラマン増幅用光ファイバの何れかは光導波領域にPが添加されていることを特徴とする。これらの場合には、ラマン増幅用光ファイバにおける利得帯域は、添加されたGeまたはPに応じたものとなり、ラマン増幅器の利得帯域を設定する上で好適である。

## 【 0 0 1 3 】

本発明に係る光通信システムは、(1) 光導波領域における組成が互いに異なり、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅する複数のラマン増幅用光ファイバが敷設されてなる光伝送路と、(2) 光伝送路に対しラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段とを備えることを特徴とする。この光通信システムによれば、複数のラマン増幅用光ファイバが敷設されてなる光伝送路に励起光供給手段によりラマン増幅用励起光が供給されると、光伝送路を伝搬する信号光はラマン増幅される。複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれは、光導波領域における組成が互いに異なるので、ストークスシフト量も互いに異なる。これにより、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を互いに異なるものとすることができる。光通信システムにおけるラマン増幅の利得帯域は、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を総合したものとなり、1種類のラマン増幅用光ファイバのみが設けられた従来の場合の利得帯域と比較して広くすることができる。

## 【 0 0 1 4 】

## 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

## 【 0 0 1 5 】

## (ラマン増幅器の第1の実施形態)

まず、本発明に係るラマン増幅器の第1の実施形態について説明する。図1は、第1の実施形態に係るラマン増幅器10の構成図である。このラマン増幅器1

0は、入力端10aから出力端10bへ向けて順に、第1のラマン増幅用光ファイバ11<sub>1</sub>、第1の合分波器12<sub>1</sub>、光アイソレータ13、第2のラマン増幅用光ファイバ11<sub>2</sub>および第2の合分波器12<sub>2</sub>が設けられている。また、このラマン増幅器10は、第1の合分波器12<sub>1</sub>および第2の合分波器12<sub>2</sub>の双方に接続された励起光源14が設けられている。

#### 【0016】

励起光源14はラマン増幅用励起光を出力する。第1の合分波器12<sub>1</sub>は、励起光源14から出力されたラマン増幅用励起光を第1のラマン増幅用光ファイバ11<sub>1</sub>に供給するとともに、第1のラマン増幅用光ファイバ11<sub>1</sub>より到達した信号光を光アイソレータ13へ向けて通過させる。第2の合分波器12<sub>2</sub>は、励起光源14から出力されたラマン増幅用励起光を第2のラマン増幅用光ファイバ11<sub>2</sub>に供給するとともに、第2のラマン増幅用光ファイバ11<sub>2</sub>より到達した信号光を出力端10bへ向けて通過させる。

#### 【0017】

第1のラマン増幅用光ファイバ11<sub>1</sub>は、入力端10aより入力した信号光を第1の合分波器12<sub>1</sub>へ向けて伝送するとともに、第1の合分波器12<sub>1</sub>よりラマン増幅用励起光が供給されることにより該信号光をラマン増幅する。光アイソレータ13は、第1の合分波器12<sub>1</sub>から第2のラマン増幅用光ファイバ11<sub>2</sub>の方向へは光を通過させるが、逆の方向には光を通過させない。第2のラマン増幅用光ファイバ11<sub>2</sub>は、光アイソレータ13より入力した信号光を第2の合分波器12<sub>2</sub>へ向けて伝送するとともに、第2の合分波器12<sub>2</sub>よりラマン増幅用励起光が供給されることにより該信号光をラマン増幅する。

#### 【0018】

このラマン増幅器10では、励起光源14から出力されたラマン増幅用励起光は、2分岐されて、第1の合分波器12<sub>1</sub>を経て第1のラマン増幅用光ファイバ11<sub>1</sub>に供給されるとともに、第2の合分波器12<sub>2</sub>を経て第2のラマン増幅用光ファイバ11<sub>2</sub>に供給される。そして、入力端10aに入力した信号光は、ラマン増幅されつつ第1のラマン増幅用光ファイバ11<sub>1</sub>を伝搬し、第1の合分波器12<sub>1</sub>および光アイソレータ13を経て、第2のラマン増幅用光ファイバ11<sub>2</sub>に伝搬し、第2のラマン増幅用光ファイバ11<sub>2</sub>を伝搬し、第2の合分波器12<sub>2</sub>を経て出力端10bへ出力される。

用光ファイバ  $11_2$  を伝搬し、第2の合分波器  $12_2$  を経て、出力端  $10b$  より出力される。

#### 【0019】

特に、このラマン増幅器  $10$  では、2本のラマン増幅用光ファイバ  $11_1$ ,  $11_2$  それぞれは、光導波領域における組成が互いに異なり、直列に接続されている。また、2本のラマン増幅用光ファイバ  $11_1$ ,  $11_2$  それぞれには、共通の励起光源  $14$  から出力された同一波長のラマン増幅用励起光が供給される。ラマン増幅用光ファイバ  $11_1$ ,  $11_2$  それぞれは、コア領域を含む光導波領域における組成が互いに異なることにより、ストークスシフト量が互いに異なり、ラマン増幅の利得帯域が互いに異なるものとなる。

#### 【0020】

図2は、光ファイバの各組成についてストークスシフト量とラマン散乱量との関係を示すグラフである。この図に示すように、光ファイバにおいてラマン散乱量がピークとなるストークスシフト量は光ファイバの組成により異なる。例えば、 $\text{GeO}_2$  のラマン散乱量はストークスシフト量が  $420\text{ cm}^{-1}$  程度のときにピークとなり、 $\text{P}_2\text{O}_5$  のラマン散乱量はストークスシフト量が  $635\text{ cm}^{-1}$  程度のときにピークとなり、 $\text{B}_2\text{O}_3$  のラマン散乱量はストークスシフト量が  $825\text{ cm}^{-1}$  程度のときにピークとなる。 $\text{GeO}_2$  および  $\text{P}_2\text{O}_5$  それぞれのラマン散乱量がピークとなるストークスシフト量は、波長による表記では互いに  $100\text{ nm}$  程度異なっている。

#### 【0021】

図3は、ラマン増幅用励起光の波長とラマン増幅の利得スペクトルとの関係を示すグラフである。図3(a)に示すように、第1のラマン増幅用光ファイバ  $11_1$  は、ストークスシフト量が  $a$  であれば、ラマン増幅用励起光の波長  $\lambda$  よりストークスシフト量  $a$  だけ長い波長を中心に利得スペクトルを有する。また、図3(b)に示すように、第2のラマン増幅用光ファイバ  $11_2$  は、ストークスシフト量が  $b$  であれば、ラマン増幅用励起光の波長  $\lambda$  よりストークスシフト量  $b$  だけ長い波長を中心に利得スペクトルを有する。このとき、図3(c)に示すように、共通の励起光源  $14$  から出力された同一波長  $\lambda$  のラマン増幅用励起光がラマン

増幅用光ファイバ  $11_1$ ,  $11_2$  に供給されると、ラマン増幅用光ファイバ  $11_1$ ,  $11_2$  それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域が互いに異なるものとなる。

#### 【0022】

例えば、第1のラマン増幅用光ファイバ  $11_1$  は光導波領域に  $\text{GeO}_2$  が添加された石英系光ファイバであり、第2のラマン増幅用光ファイバ  $11_2$  は光導波領域に  $\text{P}_2\text{O}_5$  が添加された石英系光ファイバである。このようにすることで、共通の励起光源 14 から出力された同一波長のラマン増幅用励起光が供給されたとしても、ラマン増幅用光ファイバ  $11_1$ ,  $11_2$  それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域が互いに異なるものとなる。そして、ラマン増幅器 10 におけるラマン増幅の利得帯域は、ラマン増幅用光ファイバ  $11_1$ ,  $11_2$  それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を総合したものとなり、1種類のラマン増幅用光ファイバのみが設けられた従来の場合の利得帯域と比較して広くすることができる。以上のように、本実施形態に係るラマン増幅器 10 は、1個の励起光源を用いるだけでラマン増幅の利得スペクトルの幅の拡大等を図ることができ、低コストである。

#### 【0023】

##### (ラマン増幅器の第2の実施形態)

次に、本発明に係るラマン増幅器の第2の実施形態について説明する。図4は、第2の実施形態に係るラマン増幅器 20 の構成図である。このラマン増幅器 20 は、入力端 20a から出力端 20b へ向けて順に、第1のラマン増幅用光ファイバ  $21_1$ 、第2のラマン増幅用光ファイバ  $21_2$  および合分波器 22 が設けられている。また、このラマン増幅器 20 は、合分波器 22 に接続された励起光源 24 が設けられている。

#### 【0024】

励起光源 24 はラマン増幅用励起光を出力する。合分波器 22 は、励起光源 24 から出力されたラマン増幅用励起光を第1のラマン増幅用光ファイバ  $21_1$  および第2のラマン増幅用光ファイバ  $21_2$  の双方に供給するとともに、第2のラマン増幅用光ファイバ  $21_2$  より到達した信号光を出力端 20b へ向けて通過させる。

第1のラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>は、入力端20aより入力した信号光を第2のラマン増幅用光ファイバ21<sub>2</sub>へ向けて伝送するとともに、合分波器22よりラマン増幅用励起光が供給されることにより該信号光をラマン増幅する。第2のラマン増幅用光ファイバ21<sub>2</sub>は、第1のラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>より入力した信号光を合分波器22へ向けて伝送するとともに、合分波器22よりラマン増幅用励起光が供給されることにより該信号光をラマン増幅する。

## 【0026】

このラマン増幅器20では、励起光源24から出力されたラマン増幅用励起光は、合分波器22を経て第1のラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>および第2のラマン増幅用光ファイバ21<sub>2</sub>の双方に供給される。そして、入力端20aに入力した信号光は、ラマン増幅されつつ第1のラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>および第2のラマン増幅用光ファイバ21<sub>2</sub>を伝搬し、合分波器22を経て、出力端20bより出力される。

## 【0027】

特に、このラマン増幅器20でも、2本のラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>、21<sub>2</sub>それぞれは、光導波領域における組成が互いに異なり、直列に接続されている。また、2本のラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>、21<sub>2</sub>それぞれには、共通の励起光源24から出力された同一波長のラマン増幅用励起光が供給される。ラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>、21<sub>2</sub>それぞれは、コア領域を含む光導波領域における組成が互いに異なることにより、ストークスシフト量が互いに異なり、ラマン増幅の利得帯域が互いに異なるものとなる。

## 【0028】

例えば、第1のラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>は光導波領域にGeO<sub>2</sub>が添加された石英系光ファイバであり、第2のラマン増幅用光ファイバ21<sub>2</sub>は光導波領域にP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が添加された石英系光ファイバである。このようにすることで、共通の励起光源24から出力された同一波長のラマン増幅用励起光が供給されたとしても、ラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>、21<sub>2</sub>それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域が互いに異なるものとなる。そして、ラマン増幅器20におけるラマン増幅の利得帯域は、ラマン増幅用光ファイバ21<sub>1</sub>、21<sub>2</sub>それぞれにおけるラマン増

幅の利得帯域を総合したものとなり、1種類のラマン増幅用光ファイバのみが設けられた従来の場合の利得帯域と比較して広くすることができる。以上のように、本実施形態に係るラマン増幅器20も、1個の励起光源を用いるだけでラマン増幅の利得スペクトルの幅の拡大等を図ることができ、低コストである。

#### 【0029】

##### (ラマン増幅器の第3の実施形態)

次に、本発明に係るラマン増幅器の第3の実施形態について説明する。図5は、第3の実施形態に係るラマン増幅器30の構成図である。このラマン増幅器30は、入力端30aから出力端30bへ向けて順に、第1のラマン増幅用光ファイバ31<sub>1</sub>、第1の合分波器32<sub>1</sub>、光アイソレータ33、第2のラマン増幅用光ファイバ31<sub>2</sub>および第2の合分波器32<sub>2</sub>が設けられている。また、このラマン増幅器30は、第1の合分波器32<sub>1</sub>に接続された第1の励起光源34<sub>1</sub>、および、第2の合分波器32<sub>2</sub>に接続された第2の励起光源34<sub>2</sub>が設けられている。

#### 【0030】

第1の励起光源34<sub>1</sub>および第2の励起光源34<sub>2</sub>それぞれはラマン増幅用励起光を出力する。第1の合分波器32<sub>1</sub>は、第1の励起光源34<sub>1</sub>から出力されたラマン増幅用励起光を第1のラマン増幅用光ファイバ31<sub>1</sub>に供給するとともに、第1のラマン増幅用光ファイバ31<sub>1</sub>より到達した信号光を光アイソレータ33へ向けて通過させる。第2の合分波器32<sub>2</sub>は、第2の励起光源34<sub>2</sub>から出力されたラマン増幅用励起光を第2のラマン増幅用光ファイバ31<sub>2</sub>に供給するとともに、第2のラマン増幅用光ファイバ31<sub>2</sub>より到達した信号光を出力端30bへ向けて通過させる。

#### 【0031】

第1のラマン増幅用光ファイバ31<sub>1</sub>は、入力端30aより入力した信号光を第3の合分波器32<sub>1</sub>へ向けて伝送するとともに、第1の合分波器32<sub>1</sub>よりラマン増幅用励起光が供給されることにより該信号光をラマン増幅する。光アイソレータ33は、第1の合分波器32<sub>1</sub>から第2のラマン増幅用光ファイバ31<sub>2</sub>の方向へは光を通過させるが、逆の方向には光を通過させない。第2のラマン増幅用光ファイバ31<sub>2</sub>は、光アイソレータ33より入力した信号光を第2の合分波器

3 2<sub>2</sub>へ向けて伝送するとともに、第2の合分波器3 2<sub>2</sub>よりラマン増幅用励起光が供給されることにより該信号光をラマン増幅する。

#### 【0 0 3 2】

このラマン増幅器3 0では、第1の励起光源3 4<sub>1</sub>から出力されたラマン増幅用励起光は、第1の合分波器3 2<sub>1</sub>を経て第1のラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>1</sub>に供給され、第2の励起光源3 4<sub>2</sub>から出力されたラマン増幅用励起光は、第2の合分波器3 2<sub>2</sub>を経て第2のラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>2</sub>に供給される。そして、入力端3 0 aに入力した信号光は、ラマン増幅されつつ第1のラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>1</sub>を伝搬し、第1の合分波器3 2<sub>1</sub>および光アイソレータ3 3を経て、ラマン増幅されつつ第2のラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>2</sub>を伝搬し、第2の合分波器3 2<sub>2</sub>を経て、出力端3 0 bより出力される。

#### 【0 0 3 3】

特に、このラマン増幅器3 0では、2本のラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>1</sub>、3 1<sub>2</sub>それぞれは、光導波領域における組成が互いに異なり、直列に接続されている。ラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>1</sub>、3 1<sub>2</sub>それぞれは、コア領域を含む光導波領域における組成が互いに異なることにより、ストークスシフト量が互いに異なる。例えば、第1のラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>1</sub>は光導波領域にGeO<sub>2</sub>が添加された石英系光ファイバであり、第2のラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>2</sub>は光導波領域にP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が添加された石英系光ファイバである。

#### 【0 0 3 4】

第1の励起光源3 4<sub>1</sub>から出力され第1のラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>1</sub>に供給されるラマン増幅用励起光の波長 $\lambda_1$ と、第2の励起光源3 4<sub>2</sub>から出力され第2のラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>2</sub>に供給されるラマン増幅用励起光の波長 $\lambda_2$ とは、同一であってもよいし、異なってもよい。

#### 【0 0 3 5】

波長 $\lambda_1$ と波長 $\lambda_2$ とが互いに同一であれば、第1または第2の実施形態の場合と同様に、ラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>1</sub>、3 1<sub>2</sub>それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域が互いに異なるものとなる。一方、波長 $\lambda_1$ と波長 $\lambda_2$ とが互いに異なれば、ラマン増幅用光ファイバ3 1<sub>1</sub>、3 1<sub>2</sub>それぞれにおけるラマン増幅の利得帯

域が互いに更に離れたものとすることもできるし、また、ラマン増幅用光ファイバ  $31_1$ 、 $31_2$  それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域が互いに一部が重なるようにすることもできる（図3（d）参照）。何れの場合も、ラマン増幅器30におけるラマン増幅の利得帯域は、ラマン増幅用光ファイバ  $31_1$ 、 $31_2$  それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を総合したものとなり、1種類のラマン増幅用光ファイバのみが設けられた従来の場合の利得帯域と比較して広くすることができる。以上のように、本実施形態に係るラマン増幅器30は、2個の励起光源を用いるだけでラマン増幅の利得スペクトルの幅の拡大等を図ることができ、低コストである。

#### 【0036】

##### （ラマン増幅器の第4の実施形態）

次に、本発明に係るラマン増幅器の第4の実施形態について説明する。図6は、第4の実施形態に係るラマン増幅器40の構成図である。このラマン増幅器40は、第1のラマン増幅用光ファイバ  $41_1$  と第2のラマン増幅用光ファイバ  $41_2$  とが並列に接続されて設けられており、これらと入力端40aとの間に分波器45が設けられ、これらと出力端40bとの間に合分波器  $42_1$ 、 $42_2$  および合波器46が設けられている。また、このラマン増幅器40は、第1の合分波器  $42_1$  および第2の合分波器  $42_2$  の双方に接続された励起光源44が設けられている。

#### 【0037】

励起光源44はラマン増幅用励起光を出力する。第1の合分波器  $42_1$  は、励起光源44から出力されたラマン増幅用励起光を第1のラマン増幅用光ファイバ  $41_1$  に供給するとともに、第1のラマン増幅用光ファイバ  $41_1$  より到達した信号光を合波器46へ向けて通過させる。第2の合分波器  $42_2$  は、励起光源44から出力されたラマン増幅用励起光を第2のラマン増幅用光ファイバ  $41_2$  に供給するとともに、第2のラマン増幅用光ファイバ  $41_2$  より到達した信号光を合波器46へ向けて通過させる。

#### 【0038】

分波器45は、入力端10aより入力した信号光を第1の波長帯域と第2の波



長帯域とに分波して、第1の波長帯域の信号光を第1のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>1</sub>へ出力し、第2の波長帯域の信号光を第2のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>2</sub>へ出力する。第1のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>1</sub>は、分波器4-5より到達した第1の波長帯域の信号光を第1の合分波器4-2<sub>1</sub>へ向けて伝送するとともに、第1の合分波器4-2<sub>1</sub>よりラマン増幅用励起光が供給されることにより該信号光をラマン増幅する。第2のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>2</sub>は、分波器4-5より到達した第2の波長帯域の信号光を第2の合分波器4-2<sub>2</sub>へ向けて伝送するとともに、第2の合分波器4-2<sub>2</sub>よりラマン増幅用励起光が供給されることにより該信号光をラマン増幅する。合波器4-6は、第1の合分波器4-2<sub>1</sub>より到達した第1の波長帯域の信号光と、第2の合分波器4-2<sub>2</sub>より到達した第2の波長帯域の信号光とを合波して、この合波した信号光を出力端4-0bへ向けて出力する。

## 【0039】

このラマン増幅器4-0では、励起光源4-4から出力されたラマン増幅用励起光は、2分岐されて、第1の合分波器4-2<sub>1</sub>を経て第1のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>1</sub>に供給されるとともに、第2の合分波器4-2<sub>2</sub>を経て第2のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>2</sub>に供給される。そして、入力端4-0aに入力した信号光は、分波器4-5により第1の波長帯域と第2の波長帯域とに分波される。第1の波長帯域の信号光は、ラマン増幅されつつ第1のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>1</sub>を伝搬し、第1の合分波器4-2<sub>1</sub>を経て合波器4-6に向かう。第2の波長帯域の信号光は、ラマン増幅されつつ第2のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>2</sub>を伝搬し、第2の合分波器4-2<sub>2</sub>を経て合波器4-6に向かう。第1および第2の波長帯域の信号光は、合波器4-6により合波されて、出力端4-0bより出力される。

## 【0040】

特に、このラマン増幅器4-0では、2本のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>1</sub>、4-1<sub>2</sub>それぞれは、光導波領域における組成が互いに異なり、並列に接続されている。また、2本のラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>1</sub>、4-1<sub>2</sub>それぞれには、共通の励起光源4-4から出力された同一波長のラマン増幅用励起光が供給される。ラマン増幅用光ファイバ4-1<sub>1</sub>、4-1<sub>2</sub>それぞれは、コア領域を含む光導波領域における組成が互いに異なることにより、ストークスシフト量が互いに異なり、ラマン増

幅の利得帯域が互いに異なるものとなる。

#### 【0041】

例えば、第1のラマン増幅用光ファイバ41<sub>1</sub>は光導波領域にGeO<sub>2</sub>が添加された石英系光ファイバであり、第2のラマン増幅用光ファイバ41<sub>2</sub>は光導波領域にP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が添加された石英系光ファイバである。このようにすることで、共通の励起光源44から出力された同一波長のラマン増幅用励起光が供給されたとしても、ラマン増幅用光ファイバ41<sub>1</sub>、41<sub>2</sub>それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域が互いに異なるものとなる。そして、ラマン増幅器40におけるラマン増幅の利得帯域は、ラマン増幅用光ファイバ41<sub>1</sub>、41<sub>2</sub>それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を総合したものとなり、1種類のラマン増幅用光ファイバのみが設けられた従来の場合の利得帯域と比較して広くすることができる。以上のように、本実施形態に係るラマン増幅器40は、1個の励起光源を用いるだけでラマン増幅の利得スペクトルの幅の拡大等を図ることができ、低コストである。

#### 【0042】

なお、本実施形態では2本のラマン増幅用光ファイバ41<sub>1</sub>、41<sub>2</sub>それぞれに同一波長のラマン増幅用励起光が供給されるものとしたが、異なる波長のラマン増幅用励起光が供給されてもよい。

#### 【0043】

(光通信システムの実施形態)

次に、本発明に係る光通信システムの実施形態について説明する。図7は、本実施形態に係る光通信システム1の構成図である。この光通信システム1は、送信局61と中継局62との間、中継局62と中継局63との間、および、中継局63と受信局64との間、それぞれが光伝送路で接続されたものである。

#### 【0044】

送信局61と中継局62との間の光伝送路は、ラマン増幅用光ファイバ51<sub>1</sub>が敷設されたものである。中継局62と中継局63との間の光伝送路は、ラマン増幅用光ファイバ51<sub>2</sub>および51<sub>3</sub>が敷設されたものである。中継局62内には、ラマン増幅用励起光を出力する励起光源54<sub>1</sub>と、この励起光源54<sub>1</sub>から出力されたラマン増幅用励起光をラマン増幅用光ファイバ51<sub>1</sub>に導入する為の合分

波器  $5 2_1$  とが設けられている。中継局 6 3 内には、ラマン増幅用励起光を出力する励起光源  $5 4_2$  と、この励起光源  $5 4_2$  から出力されたラマン増幅用励起光をラマン増幅用光ファイバ  $5 1_2$  および  $5 1_3$  に導入する為の合分波器  $5 2_2$  とが設けられている。すなわち、ラマン増幅用光ファイバ  $5 1_1$ 、励起光源  $5 4_1$  および合分波器  $5 2_1$  はラマン増幅器を構成している。また、ラマン増幅用光ファイバ  $5 1_2$  および  $5 1_3$ 、励起光源  $5 4_1$  ならびに合分波器  $5 2_1$  もラマン増幅器を構成している。

## 【 0 0 4 5 】

この光通信システム 1 では、中継局 6 2 内の励起光源  $5 4_1$  から出力されたラマン増幅用励起光は、合分波器  $5 2_1$  を経てラマン増幅用光ファイバ  $5 1_1$  に供給される。中継局 6 3 内の励起光源  $5 4_2$  から出力されたラマン増幅用励起光は、合分波器  $5 2_2$  を経てラマン増幅用光ファイバ  $5 1_2$  および  $5 1_3$  に供給される。そして、送信局 6 1 から送出された信号光は、中継局 6 1 へ向けてラマン増幅されつつラマン増幅用光ファイバ  $5 1_1$  を伝搬し、中継局 6 2 へ向けてラマン増幅されつつラマン増幅用光ファイバ  $5 1_2$  および  $5 1_3$  を伝搬し、さらに、受信局 6 4 へ向けて光伝送路を伝搬して、受信局 6 4 において受信される。

## 【 0 0 4 6 】

特に、この光通信システム 1 では、3 本のラマン増幅用光ファイバ  $5 1_1 \sim 5 1_3$  それぞれは、光導波領域における組成が互いに異なり、直列に接続されている。また、これらのうち 2 本のラマン増幅用光ファイバ  $5 1_2$ 、 $5 1_3$  それぞれには、共通の励起光源  $5 4_2$  から出力された同一波長のラマン増幅用励起光が供給される。ラマン増幅用光ファイバ  $5 1_1 \sim 5 1_3$  それぞれは、コア領域を含む光導波領域における組成が互いに異なることにより、ストークスシフト量が互いに異なり、ラマン増幅の利得帯域が互いに異なるものとなる。

## 【 0 0 4 7 】

例えば、ラマン増幅用光ファイバ  $5 1_1 \sim 5 1_3$  のうち、何れかは光導波領域に  $\text{GeO}_2$  が添加された石英系光ファイバであり、他の何れかは光導波領域に  $\text{P}_2\text{O}_5$  が添加された石英系光ファイバである。このようにすることで、ラマン増幅用光ファイバ  $5 1_1 \sim 5 1_3$  それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域が互いに異なる

ものとなる。そして、光通信システム 1 におけるラマン増幅の利得帯域は、ラマン増幅用光ファイバ  $51_1 \sim 51_3$  それぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を総合したものとなり、1 種類のラマン増幅用光ファイバのみが設けられた従来の場合の利得帯域と比較して広げることができる。以上のように、本実施形態に係る光通信システム 1 は、3 個の励起光源を用いるだけでラマン増幅の利得スペクトルの幅の拡大等を図ることができ、低コストである。

【0048】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係るラマン増幅器によれば、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに励起光供給手段によりラマン増幅用励起光が供給されると、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれを伝搬する信号光はラマン増幅される。複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれは、光導波領域における組成が互いに異なるので、ストークスシフト量も互いに異なる。これにより、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を互いに異なるものとすることができる。ラマン増幅器におけるラマン増幅の利得帯域は、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を総合したものとなり、1 種類のラマン増幅用光ファイバのみが設けられた従来の場合の利得帯域と比較して広げることができる。したがって、このラマン増幅器は、少ない個数の励起光源を用いるだけでラマン増幅の利得スペクトルの幅の拡大等を図ることができ、低コストである。

【0049】

また、複数のラマン増幅用光ファイバが並列に接続される場合には、信号光は、分波器により複数の波長帯域に分波され、何れかのラマン増幅用光ファイバにより帯域毎にラマン増幅される点で好適である。複数のラマン増幅用光ファイバが直列に接続される場合には、並列接続の場合に必要な合波器や分波器が不要であるので、より低コストである点で好適である。

【0050】

また、励起光供給手段が複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し同一波長のラマン増幅用励起光を供給する場合には、ラマン増幅器における利得帯域の

幅は、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれの組成に応じたものとなる。また、励起光供給手段が複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し共通の励起光源から出力されたラマン増幅用励起光を供給する場合には、励起光源の個数を少なくして、低コスト化を図る上で更に好適である。また、励起光供給手段が複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに対し互いに異なる波長のラマン増幅用励起光を供給する場合には、ラマン増幅器における利得帯域の幅は、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれの組成およびラマン増幅用励起光の波長の双方に応じたものとなり、更に広くすることも可能である。

#### 【0051】

また、複数のラマン増幅用光ファイバの何れかは、光導波領域にGeが添加されているのが好適であり、或いは、光導波領域にPが添加されているのが好適である。これらの場合には、ラマン増幅用光ファイバにおける利得帯域は、添加されたGeまたはPに応じたものとなり、ラマン増幅器の利得帯域を設定する上で好適である。

#### 【0052】

本発明に係る光通信システムによれば、複数のラマン増幅用光ファイバが敷設されてなる光伝送路に励起光供給手段によりラマン増幅用励起光が供給されると、光伝送路を伝搬する信号光はラマン増幅される。複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれは、光導波領域における組成が互いに異なるので、ストークスシフト量も互いに異なる。これにより、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を互いに異なるものとすることができる。光通信システムにおけるラマン増幅の利得帯域は、複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれにおけるラマン増幅の利得帯域を総合したものとなり、1種類のラマン増幅用光ファイバのみが設けられた従来の場合の利得帯域と比較して広くすることができる。したがって、この光通信システムは、少ない個数の励起光源を用いるだけでラマン増幅の利得スペクトルの幅の拡大等を図ることができ、低コストである。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

第1の実施形態に係るラマン増幅器10の構成図である。

【図 2】

光ファイバの各組成についてストークスシフト量とラマン散乱量との関係を示すグラフである。

【図 3】

ラマン増幅用励起光の波長とラマン増幅の利得スペクトルとの関係を示すグラフである。

【図 4】

第 2 の実施形態に係るラマン増幅器 2 0 の構成図である。

【図 5】

第 3 の実施形態に係るラマン増幅器 3 0 の構成図である。

【図 6】

第 4 の実施形態に係るラマン増幅器 4 0 の構成図である。

【図 7】

本実施形態に係る光通信システム 1 の構成図である。

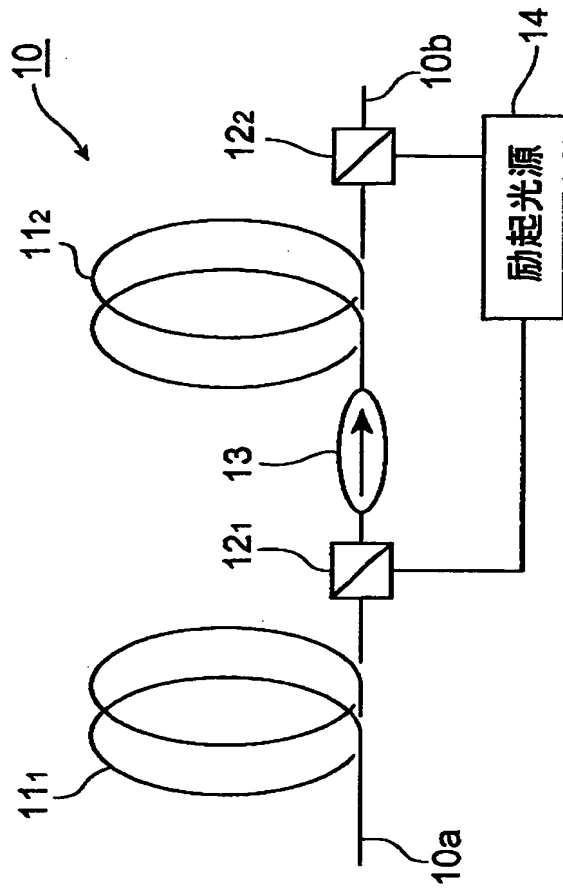
【符号の説明】

1…光通信システム、1 0…ラマン増幅器、1 1<sub>1</sub>, 1 1<sub>2</sub>…ラマン増幅用光ファイバ、1 2<sub>1</sub>, 1 2<sub>2</sub>…合分波器、1 3…光アイソレータ、1 4…励起光源、2 0…ラマン増幅器、2 1<sub>1</sub>, 2 1<sub>2</sub>…ラマン増幅用光ファイバ、2 2…合分波器、2 4…励起光源、3 0…ラマン増幅器、3 1<sub>1</sub>, 3 1<sub>2</sub>…ラマン増幅用光ファイバ、3 2<sub>1</sub>, 3 2<sub>2</sub>…合分波器、3 3…光アイソレータ、3 4<sub>1</sub>, 3 4<sub>2</sub>…励起光源、4 0…ラマン増幅器、4 1<sub>1</sub>, 4 1<sub>2</sub>…ラマン増幅用光ファイバ、4 2<sub>1</sub>, 4 2<sub>2</sub>…合分波器、4 4…励起光源、4 5…分波器、4 6…合波器、5 1<sub>1</sub>~5 1<sub>3</sub>…ラマン増幅用光ファイバ、5 2<sub>1</sub>, 5 2<sub>2</sub>…合分波器、5 4<sub>1</sub>, 5 4<sub>2</sub>…励起光源、6 1…送信局、6 2, 6 3…中継局、6 4…受信局。

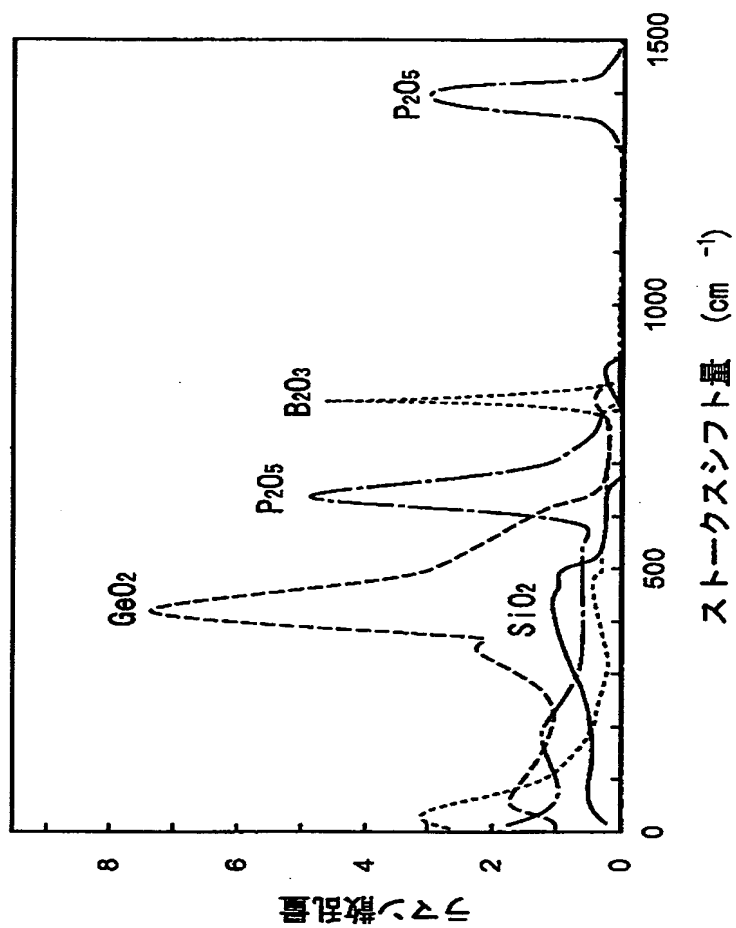
【書類名】

図面

【図 1】

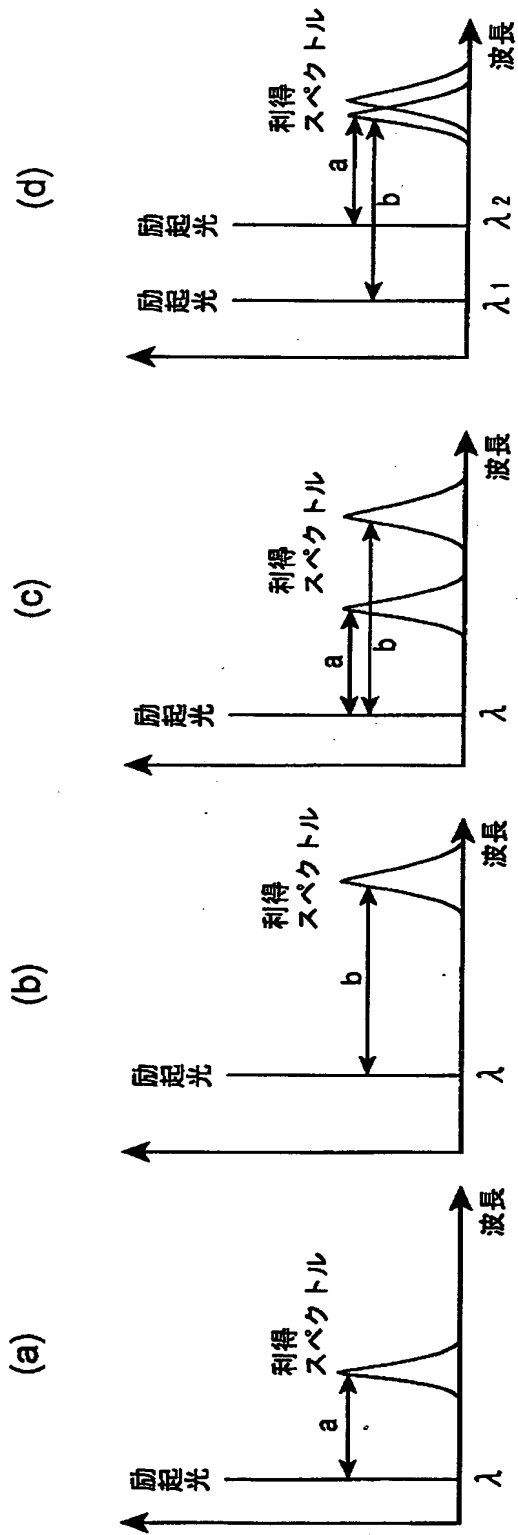


【図2】

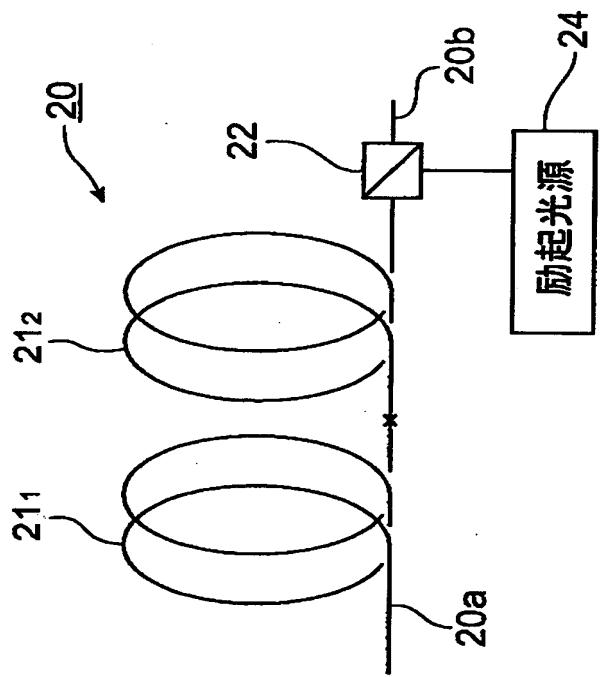




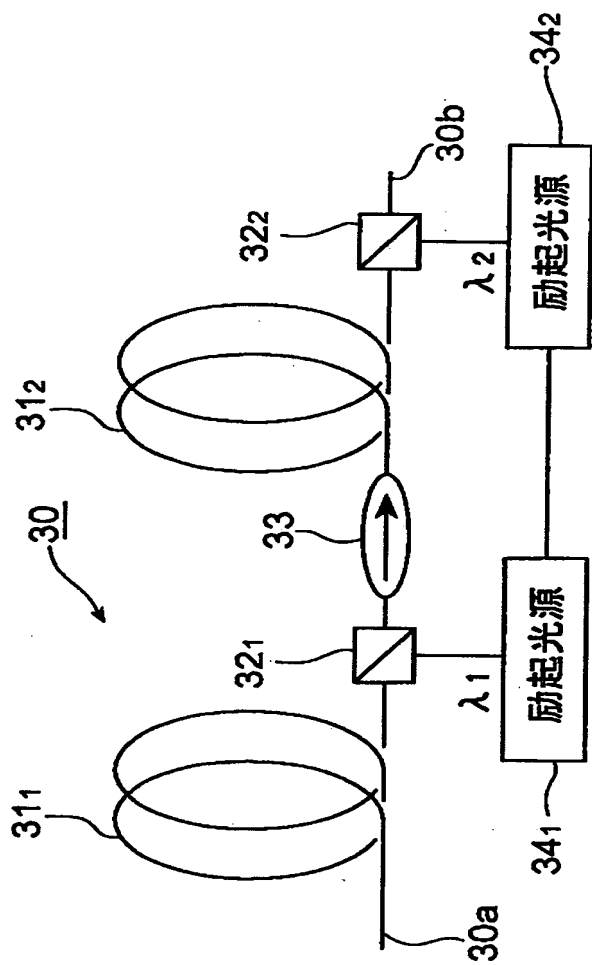
【図 3】



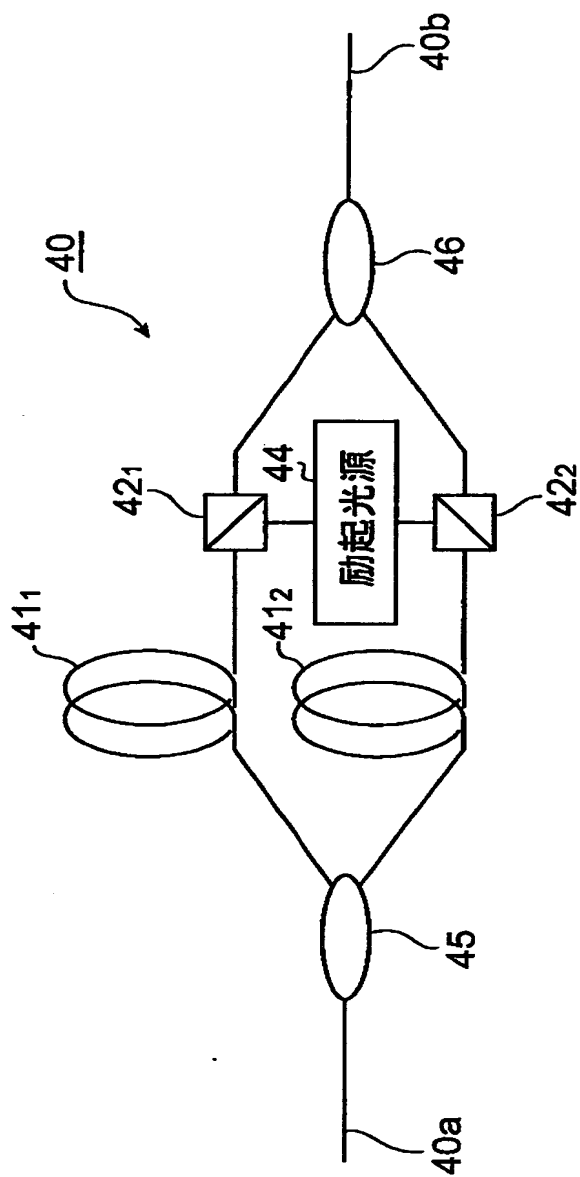
【図 4】



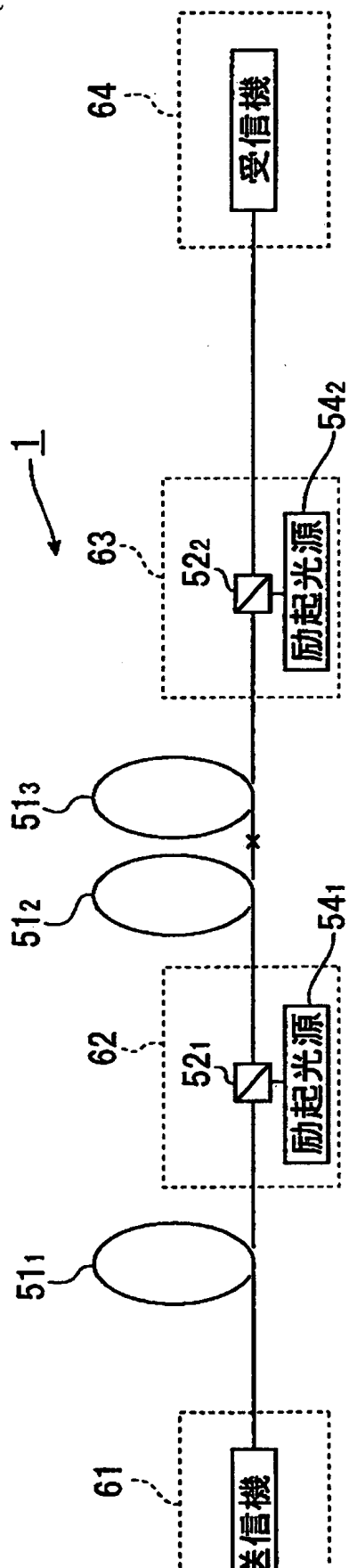
【図 5】



【図 6】



【図7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ラマン増幅の利得スペクトルの幅の拡大等を低コストで図ることができ  
るラマン増幅器および光通信システムを提供する。

【解決手段】 ラマン増幅器 1 0 では、励起光源 1 4 から出力されたラマン増幅  
用励起光は、2 分岐されて、第 1 の合分波器 1 2<sub>1</sub> を経て第 1 のラマン増幅用光  
ファイバ 1 1<sub>1</sub> に供給されるとともに、第 2 の合分波器 1 2<sub>2</sub> を経て第 2 のラマン  
増幅用光ファイバ 1 1<sub>2</sub> に供給される。入力端 1 0 a に入力した信号光は、ラマ  
ン増幅されつつ第 1 のラマン増幅用光ファイバ 1 1<sub>1</sub> を伝搬し、第 1 の合分波器  
1 2<sub>1</sub> および光アイソレータ 1 3 を経て、ラマン増幅されつつ第 2 のラマン増幅  
用光ファイバ 1 1<sub>2</sub> を伝搬し、第 2 の合分波器 1 2<sub>2</sub> を経て、出力端 1 0 b より出  
力される。2 本のラマン増幅用光ファイバ 1 1<sub>1</sub>, 1 1<sub>2</sub> それぞれは、光導波領域  
における組成が互いに異なり、直列に接続されている。

【選択図】 図 1

特2000-248627

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

氏 名 住友電気工業株式会社